جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السابعة من السنة التاسعة عشر

١٤٤

محاضرة عن

تجارب التحميل فى المنشئات الخرسانية

وأهميتها من الوجهتين العلمية والعملية

للدكتور سيد مرتضى

وكيل المكتب الفنى لكبارى السكة الحديد

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية

بتاريخ ١٣ ابريل سنة ١٩٣٩

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر

جمعية المهندسين الملكية المصرية

النشرة السابعة من السنة التاسعة عشر

١٤٤

محاضرة عن

تجارب التحميل فى المنشئات الخرسانية

وأهميتها من الوجهتين العلمية والعملية

للدكتور سيد مرتضى
وكيل المكتب الفنى لكبارى السكة الحديد

ألقيت بجمعية المهندسين الملكية المصرية
بتاريخ ٦ أبريل سنة ١٩٣٩

مطبعة الاعتماد بشارع حسن الاكبر بمصر

الجمعية ليست مسئولة عما جاء بهذه الصحائف من البيان والآراء .

تنشر الجمعية على أعضائها هـذه الصحائف للنقد وكل نقد يرسل للجمعية يجب أن يكتب بوضوح وترفق به الرسومات اللازمة بالحبر الأسـود (شينى) ويرسل برسمها .

التجارب أس الحقيقة الأوحد

"L'Experience est la Source Unique de la Vérité."

هذه كلمة قالها مرجع كبير حنكته هذه التجارب هو العالم الخالد والرياضى الكبير هنرى بوانكاريه .

فاذا كان هذا هو المثل الأعلى لرجل رياضى اختار لنفسه فى الحياة مهمة قهر غوامض النظريات وتسطيرها فى أسفاره فما أجدرنا معشر المهندسين ونحن رجال الأعمال أن يكون هذا رائدنا وقد فرضت علينا المهنة التى اخترناها لأنفسنا ليس فقط أن نقهر النظريات وأن نسطر على القراطيس بل حتمت علينا أن نخرج إلى الطبيعة ونصارعها ونصرعها وننقش عليها نظرياتنا بحروف بارزة شاخصة هى ما نقيمه عليها من منشآت ومرافق .

فالنظريات العلمية فى عالم الهندسة هى النظم التى توصل إليها التفكير الهندسى نتيجة لتفهم ما يحدث فى الطبيعة من أسباب وما ينشأ عنها من مسببات وربط بها العلاقة بين هاته وتلك ووضعها فى قوالب رياضية ليسهل تناولها . فهى طريق ممهد يهدى إلى معالجة المعضلات الفنية والوصول بها إلى حلول إن اتبعناها أمنّا الوقوع فى الأخطاء الجسيمة .

وهذه النظريات ليست كلها بالعلمية البحتة التى تستند فى منشأها إلى الرياضة فقط بل أن معظمها نتيجة التجارب والمشاهدات معبر عنها بمعادلات

وقوانين أكسبتها المسحة النظرية بل وانخرطت فى سلك النظريات مع مرور الزمن .

فمعادلات الانبعاج لتتماير وضغط الأرض لكولومب ومنحنيات التأثير الديناميكى والهزات الذاتية للكبارى وقوانين توزيع الأحمال والاحتكاك كلها نتيجة مباشرة للتجارب .

وما علته منها الصبغة الرياضية البحتة كمعادلات ايلر للانبعاج ورانكين لضغط الأرض ومور للمرور وهرتز لتوزيع القوى ونافير لتوزيع الاجهادات يتوقف قوامها عند تطبيقها على معاملات متعلقة بالمادة و إغفال بعض المؤثرات الطبيعية ما يجعل قيمتها العملية متوقفة إلى درجة كبيرة على اختيار هذه المعاملات كل حالة وما يناسبها . وهذا ما لا يمكن العثور عليه فى أساطير الرياضة البتة .

ولا غرابة فى ذلك فانما نعالج فى أعمالنا أمورا طبيعية معقدة ومتشعبة ونستعمل موادا مهما بلغت نقاوة جوهرها فانه لا يمكن ربط خواصها بقوانين جازمة تخضع لها فى جميع الأحوال فكل ما يمكننا عمله هو وضع قواعد تقريبية لهذه الخواص تتفق مع مايغلب حدوثه فى الواقع وكلما قل الشذوذ عن هذه القواعد كلما ارتفعت قيمتها وزادت الثقة بها .

والوقوف على كنه ما يحدث فعلا فى المنشآت انما يتأتى باختبار المنشآت نفسها ففيها أوثق المصادر . فالمشاهدات والخبرة التى نجمعها من ممارسة أعمالنا والنتائج التى نحصل عليها من تجارب اختبار المواد فى المعامل وتجارب التحميل والقياس على المنشآت لها قيمة لا تقدر فى إظهار حقيقة ما يجرى فى جزئيات

المنشأ وكلياته بطريقة صادقة صريحة لا ترتكن إلى فروض حاوية لـكل ما يمكن وما لا يمكن مراعاته فى الحساب النظرى . فهى حكم على المنشأ غير قابل للنقض .

فتجارب التحميل خير ما يدعم عرفاننا للحدود التى يجب ألا تتعداها الاجهادات ومعاملات السلامة التى نتخذها أساسا لحساباتنا ليخرج المنشأ خاليا من الشوائب وافيا بالغرض من حيث المتانة والقوة والمرونة يعمل فى الحدود المرسومة له من حيث الترخيم والتقويص والهبوط والاهتزاز والاجهاد والتقاص والتمدد والدوران تحت ما يحمله من أحمال ثابتة ومتحركة ومتغيرة . ونتائج هذه التجارب تهيء لنا مراجعا للمقارنة فيما يستجد من الحالات المماثلة نصل بها إلى الغرض المطلوب بأقرب الطرق وأسلمها دون أن نرهق أنفسنا بالحسابات النظرية الطويلة فى كل حالة بل وربما وفرت علينا هذه النتائج الحسابات بتاتا .

ويتحتم أن يسبق هذه التجارب معرفة صحيحة لخواص مواد البناء نفسها من حيث المرونة والمقاومة للاجهادات المختلفة من شد وضغط وقص ولى وطرق وقصف واتعاب كما يجب أن نكون على علم بين لمدى تحملها لتأثير العوامل الجوية من حرارة وبرودة وعصف رمال ومناعتها الـكيماوية أمام فعل الأملاح والأحماض التى تحتويها المياه الآسنة والمياه الارضية ومياه البحار والتربات المختلفة لنضمن حصانتها أمام ما ستقابله من عوامل قد تحد من قوتها بل وقد تعمل على تآكلها .

لذلك كانت دراسة المواد واختبارها من الوجهتين الميكانيكية والـكيمائية لتفهم ما تتركب منه من عناصر وطريقة ترتيب جزيئاتها هى أساس ما يتطلبه

فن الانشاء وأهم ما يقتضيه التطور فى هندسة البناء فيجب أن يكون وحده الحكم الأول الذى له القول الفصل فى اختيار معدن المنشأ وخاماته .

فهناك إذا ثلاثة دعائم قوية متصلة الحلقات لا غنى عنها إذا أريد العمل على بصيرة و بينة لاتقاء الوقوع فى الخطل وهى الحساب النظرى ، اختبار المواد ، الخبرة المكتسبة من المنشآت القائمة .

فاذا تجمعت هذه وزاد عليها سلامة الذوق وجمال الفن لوصلنا بالمنشآت إلى درجة الكمال .

وموضوع محاضرتنا اليوم يتناول بالبحث على الأخص ثالثة النقط السالفة الذكر وهى الخبرة المكتسبة من المنشآت القائمة بعمل تجارب التحميل عليها مع جولة صغيرة فى استعراض خواص المادتين الأساسيتين التى تقوم عليهما المنشآت التى اختصيناها بالذكر اليوم وهما الخرسانة وحديد التسليح .

تنقسم تجارب التحميل إلى قسمين أساسيين . وهما تجارب التحميل الأستاتيكى لدراسة خواص المنشأ تحت فعل الأحمال الثابتة ثم تجارب التحميل الديناميكى لدراسة خواص المنشأ تحت فعل الأحمال المتحركة والمثيرة للاهتزاز . وهذا النوع الأخير من التجارب له أهمية عظمى فى الكبارى ولكن قسطه من الاهتمام فى المبانى ضئيل مالم يكن هناك دواع خاصة تستدعيه كأن يكون فى المبنى آلات دائرة كما هو الحال فى المصانع ومحطات توليد القوى أو كان المبنى نفسه شديد الحساسية للاهتزاز كالمآذن وأبراج الكنائس إذ يحدث الاهتزاز فى الأخيرة مثلا نتيجة لقرع الأجراس .

مواد البنـــــاء

١ — الخرسانة .

أن معرفة الخواص الفنية لهذه المادة معرفة كاملة هو أول مايجب عمله عند القيام ببناء منشأ له أهمية خاصة .

و يجب الفصل فى اختبار هذه المادة بين ماتبديه من ترخيم مرن يرتد بعد رفع القوى المؤثرة و بين الجزء غير المرن وهو الذى يتبقى بعد رفع الحمل وتحديد مدى الاجهاد الذى يتضخم فيه هذا الجزء الأخير والمقدار الذى يجب ألا يتعداه إذ أنه يعمل على إحداث تقو يص دائم فى المنشأ يزداد مع مرور الزمن . و يجب تحديد مقاومة هذه المادة للاجهادات المتغيرة (الأتعاب) والتغير فى مقدار مقاومتها ومرونتها مع مرور الزمن وتحت تأثير التحميل المستمر ثم فعل الانكماش وتغيير الحرارة فيها .

ونخص بالذكر أثر فعل الحرارة والانـكماش فى إحداث الاجهادات ومالذلك من دخل مباشر فى تحديد معامل السـلامة الحقيقى للمنشأ فهما ليسا بالأحمال الخارجية التى يمكن حصرها بل هما عاملان داخليان يعملان على إحداث الاجهادات التى قد تبلغ فى بعض الأحيان شأواً كبيراً يتوقف مقدارها إلى حد كبير على خواص المادة نفسها والطريقــة التى اتبعت فى تنفيذ البناء إذ يمكن بتفهم كنه فعلهما أن نعمل على كسر حده تأثيرهما بوضع برامج محكمة لصب أجزاء المنشأ وتزو يده بوصلات تمدد فى المواضع الصحيحة إذا كان ذلك فى حيز الامكان . و يجب فى هذا المقام التنو يه بأن الاجهادات التى تنشأ عن الحرارة والانـكماش

تفقد أهميتها وتتلاشى إذا وصل التحميل بالمنشأ إلى درجة يفقده بها مرونته إذ أن قوامها يتوقف على مقدار معامل مرونة المادة فبتلاشى قيمة هذا المعامل عند وصول المادة إلى درجة النزع نتيجة التحميل تلاشت هذه الاجهادات معه . فلا تشترك بذلك هذه الاجهادات فى الاجهاز على المنشأ عند زيادة التحميل فلا دخل لها إذا فى تحديد مقاومة المنشأ للكسر .

تحديد معامل المرونة للخرسانة

إن لهذا المعامل دخل فى جميع مايتعلق بالمنشأ من أبحاث نظرية وتجارب . ولما كان تحديد مقاومة المادة للكسر سهل المنال إذ يكفى لذلك اختبار بضعة من المكعبات قاد التفكير إلى إيجاد العلاقة بين المقاومة للكسر ومعامل المرونة ليسهل بذلك تحديد قيمته بطريقة سريعة سهلة .

وقد كان هذا التفكير موفقا الى درجة كبيرة . ولسهولة اجراء القياس على قطعة الاختبار استعيض بمتوازى المستطيلات بارتفاع يساوى ثلاثة أمثال طول الضلع عن المكعبات وذلك لامكان تثبيت آلات القياس عليها . (شكل ١) ومقاومة الكسر لمتوازى المستطيلات أقل منها للمكعب اذ تبلغ ٠٫٨ منها . و يرجع ذلك الى أسباب عديدة منها زيادة تأثير فعل الاحتكاك بين لوحى آلة الاختبار وسطحى المكعب عنها فى متوازى المستطيلات مما يعمل على مقاومة تمدده فى الاتجاه العرضى فتزيد بذلك متانته .

وتعمل التجربة على متوازى مستطيلات بحجم ١٢ فى ١٢ فى ٣٦ سنتيمتر

بتثبيت أربعة مقاييس للاجهادات على أسطحه الجانبية الأربعة . ثم يحمل تدريجيا وتدون قراءات المقاييس . ولشكل المنحنى الناتج من هذه العملية أهمية كبيرة . (شكل ١) فهو ليس بالخط المستقيم أى انه ليس هناك تناسبا دقيقا بين درجة التحميل ودرجة التغير فى الطول . ويحدد معامل المرونة بظل الزاوية المحصورة بين المماس للمنحنى عند مبدئه والاحداثى المبين للتغير فى الطول .

واذا عملت التجربة على درجات بحيث يرفع التحميل بعد كل منها لتبين لنا أنه يتبقى تقلص دائم عقب كل تحميل حتى ولو كان صغيرا . و يصل هذا الى درجة كبيرة عند حمل يبلغ حوالى نصف الى ٦ و ٠ من مقاومة الكسر حيث يحدث انحراف كبير فى منحنى التحميل . واذا زاد التحميل عن ذلك ازدادت ظاهرة انزلاق جزيئات الخرسانة على بعضها فهو بذلك الحد الاعلى لما يجب أن تكون عليه الاجهادات بأى حال من الاحوال لئلا ينشأ عنها فى المنشأ ترخيم دائم يزداد مع الزمن . وتحدد الاجهادات المسموح بها بنصف هذا المقدار عادة أو بما يوازى ربع الى ثلث المقاومة للكسر .

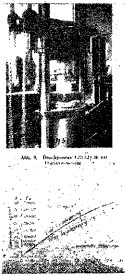
(وشكل ٢) يبين العلاقة من معامل المرونة ومقاومة الكسر لمتوازى المستطيلات نتيجة تجارب السنين الطويلة بمعمل تجارب اختبار المواد بزيوريخ وهذا المنحنى يحدد معامل المرونة فى حدود الاجهادات التى تقل عن ثلث المقاومة للكسر أى فى حدود الاجهادات المسموح بها .

مقاومة الخرسانة للشد

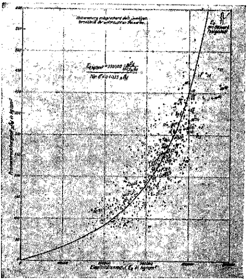
إن أهمية رفع قيمة مقاومة الخرسانة للشد ليس الغرض منه امكان تحميلها به والاستفادة من مقاومتها له فى حساب المنشآت . ولكن الأهم من ذلك هو مكافحة حدوث الشقوق الشعرية وخطر ذلك من تسرب المياه أو الرطوبة أو الغازات الى حديد التسليح والاضرار به علاوة على ما ينشأ عن هذه الشقوق من أضعاف قوة الالتصاق بين الحديد والخرسانة تحت فعل الاجهادات المتغيرة مع مرور الزمن فمقدار اجهاد حديد التسليح يتوقف إلى درجة كبيرة على مدى التمدد الذى يسمح له به بدون أن ينتج عنه تضخم فى شقوق الخرسانة عند ما تتبعه بحكم احكام الاتصال بينهما . لذلك كانت هذه النقطة من أهم ما وجب مراعاته فى استعمال الحدائد ذات المقاومة العالية فى التسليح .

ومقاومة الخرسانة للشد ضعيفة جدا فهى قد لا تصل فى أجود أنواعها إلى ٥٠ كيلو جراما للسنتيمتر المربع ولا تزال الأبحاث الجبارة قاصرة عن رفع هذه القيمة وهى أعجز عن رفع مقاومتها للتشقق .

ومعامل المرونة للخرسانة فى الشد أعلى بقليل منه فى الضغط و يوضع المقداران متساويان فى عمل الحسابات . ويعمل قياس المرونة للشد على أجسام كبيرة لامكان سهولة ربطها فى آلة الاختبار ويعمل اختناق فى قطاعها العرضى فى الوسط لتحديد منطقة الكسر فيه وعليه يتم القياس (شكل ٣) وتعمل التجربة باجهادات صغيرة نظرا لضعف مقاومة الشد لذلك يتحتم استعمال آلات دقيقة فى القياس .



(شكل ١)
تحديد معامل المرونة ومقاومة الـكسر للخرسانة للضغط



(شكل ٣)
العلاقة بين معامل المرونة ومقاومة الـكسر للخرسانة للضغط

ونظراً لما تتطلبه هذه التجربة من عناية خاصة استعيض عنها فى الأحوال العادية بتجربة الانحناء وفيها يستعمل متوازى المستطيلات العادى حيث يركز على طرفيه و يحمل فى وسطه فيتعرض سطحه الأسفل للشد وعليه يتم القياس .

مقاومة الخرسانة للاجهادات المتغيرة

هناك ثلاثة حدود مهمة للاجهادات المتغيرة (شكل ٤) الحد الأول عندما يكون مقدارها الأعلى مساويا لمقدارها الأسفل فى القيمة ومغايرا له فى النوع ويسمى بحد الاجهادات المنعكسة وهو أسوأ أنواعها . والحد الثانى عندما يتراوح مقدارها بين الصفر وحد أعلى فلا يتغير بذلك نوعها ويسمى بحد الاجهادات المتغيرة لأنه الحد الفاصل الذى بعده تغير علامتها . والحد الثالث عندما يتراوح مقدارها بين حدين من نفس النوع .

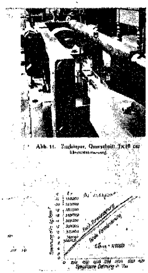
واصطلح على أن يكون نجاح المادة فى مقاومة أى نوع من هذه الاجهادات هو قدرتها على تحمله مليون مرة متوالية .

والذى يهمنـــــا من هذه الاجهادات للخرسانة هو قيمة مقاومتها لحدود الاجهادات المتغيرة للضغط . وقد حددت التجارب هذا المقدار بحوالى نصف إلى ٠٫٦ من مقاومة الكسر وهو نفس الحد الذى يبتدىء فيه تضخم الانبعاج الدائم تحت الأحمال الثابتة كما سبق شرحه وهذا دليل آخر على أن الخرسانة تظهر عليها بوادر الضعف عند هذا الحد ومبرر آخر لضرورة اعتباره الحد الأقصى لما يجب أن تصل إليه الاجهادات إطلاقا أيا كان نوعها .

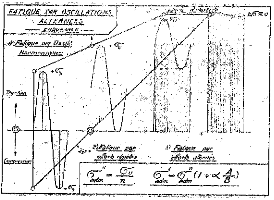
حديد التسليح

إن الشائع استعماله فى الأحوال العادية هو الأسياخ المبرومة من الصلب الطرى . والمتداول منه فى السوق عندنا هو الحديد البلجيكى المعروف بالحديد ٣٧ وهى أقل قيمة يسمح بها لمقاومته للشد بالكيلوجرام على المليمتر المربع . وهو شائع الاستعمال فى القارة الأوروبية و يسمح فيه باجهاد قدره ١٢ كيلوجراما على المليمتر المربع وحد المرونة فيه حوالى ٢٢ كيلوجراما على المليمتر المربع وتصل مقاومته للكسر إلى ٤٢ كيلوجراما على المليمتر المربع ونسبة امتداده عند الكسر لقطعة طولها عشرة أمثال قطرها تصل إلى ٢٩ ٪ ومعامل مرونته ٢٠٠٠ طن للسنتيمتر المربع .

قد لا يفى هذا الحديد بالغرض فى بعض المنشآت الحديثة ذات الأهمية الخاصة . فاتجه التفكير إلى استعمال الحدائد ذات المقاومة العالية و إجهادها بقيم أعلى . ولما كانت معاملات المرونة لهذه الحدائد لا تختلف كثيرا عن معامل المرونة للحديد العادى كانت كل زيادة فى الاجهاد معناها زيادة فى مقدار التمدد وتعريض الخرسانة للتشقق بدرجة أكبر . ولما كانت مقاومة الخرسانة للشد محدودة فان التشقق واقع لا محالة فكل ما يمكن عمله فى هذه الحالة هو توزيع الشقوق بانتظام على طول المسافة بدلا من تركها تتجمع فى مجموعة من النقط فتتضخم . و يتأتى ذلك بزيادة قوة الالتصاق بين الخرسانة والحديد . فاخترعت لذلك الحدائد المشكلة . ونستعرض منها الآن ثلاثة أنواع :



(شكل ٣)
تحديد معامل المرونة ومقاومة الكسر للخرسانة للشد



(شكل ٤)
أنواع الاجهادات المتغيرة

١ ـ الحدائد المفتولة

إن للصلب خاصية ذات أهمية كبيرة وهو أنه إذا زاد تحميله إلى ما بعد حدود المرونة ثم رفع عنه التحميل لايرتد إلى حالته الأصلية بل يحتفظ بشيء من التمدد المستديم ولكن صلابته ترتفع (شكل ٥) .

عمل على استغلال هذه الظاهرة فيما نسميه بالحديد المفتول وهو عبارة عن أسياخ من الحديد العادى تفتل على بعضها بأن يضم كل سيخين إلى بعضهما ويربط أحد طرفيهما فى منجلة ثابتة ويربط الطرف الثانى فى منجلة مركبة عليها آلة لادارتها وهى ثابتة فى موضعها . فبادارة هذه المنجلة يلتف السيخان على بعضهما مع بقاء المسافة بين طرفيهما ثابتة (شكل ٦) .

ولما كان طول السيخين المفتولين مقاساً على الخط الحلزونى أطول من طولها الأصلى على الخط المستقيم فان هذا الفرق فى الطول يتأتى من تمدد الأسياخ . ويحدد مقدار هذا التمدد بعدد اللفات التى تعمل فى السيخين .

نصل بهذه العملية الى ثلاثة نتائج :

أولا — إن عملية الفتل فى نفسها هى اختبار لكل سيخ على حدة فما هى الا تجربة شدولى : فالأسياخ الضعيفة تنكسر أثناء العملية وتظهر عيوبها .

ثانيا — ارتفاع حد المرونة فى الاسياخ نتيجة تصلبها الناتج عن امتدادها الى ما بعد حدود المرونة أثناء عملية الفتل ثم رفع الحمل عنها . ويتلو ذلك إمكان رفع قيمة الاجهادات المسموح بها فيها .

ثالثا — إن سطح السيخين المفتولين يهيىء مجالا أكبر لتغلغل الخرسانة فى تجاويفه فيزيد بذلك من قوة التصاقها بالمعدن ويعمل ذلك على توزيع التشقق فيها وتقليل خطره .

وقد أزداد استعمال هذه الأسياخ بدرجة كبيرة فى المبانى والكبارى (شكل ٧) و (شكل ٨) .

ويسمح فى هذا الحديد باجهاد قدره ١٨ كيلوجراما على المليمتر المربع أى بزيادة ٥٠ ٪ عن الحديد العادى . ومقاومة التصاق الخرسانة به حوالى ٤٥ ك / سم٢ بدلا من حوالى ٣٠ فى الأسياخ العادية بزيادة ٥٠ ٪ أيضا :

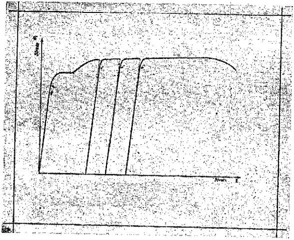
ب — حديد الركسر

يعمل هذا الحديد من الصلب عالى المقاومة بقطاع عرضى ذى أربعة شعب تتوسطها جذوع صغيرة عرضية موزعة على طول السيخ تقسمه الى مناطق صغيرة لزيادة مقاومة الالتصاق بينه وبين الخرسانة ويسمح برفع الاجهاد المسموح به فيه إلى ٢٢ كيلوجراما فى المليمتر المربع .

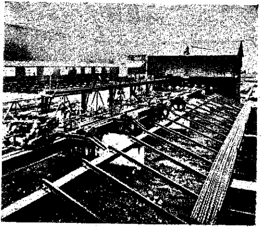
وقد شاع استعمال هذا الحديد فى الكبارى ذات الفتحات الكبيرة بقصد التوفير فى ابعاد الخرسانة (شكل ٩)

ج — حديد التور

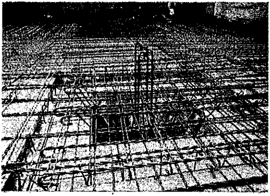
يعمل هذا الحديد كسابقه من صلب عالى المقاومة على شكل أسياخ مبرومة مزودة بعروق حلزونية علي سطحها لزيادة ربطها بالخرسانة وله نفس الخواص كسابقه .



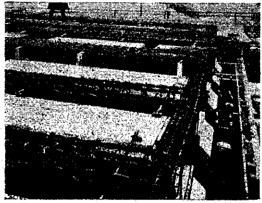
(شكل ٥)
العلاقة بين التحميل والتغيير فى الطول للحديد تحت الاجهــادات المتكررة بعد اجتياز حدود المرونة



(شكل ٦)
آلة صنع الحـــديد المفتول



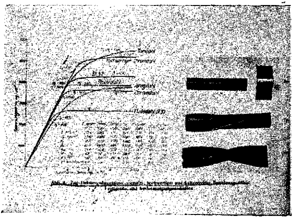
(شكل ٧)
تسليح سقف مكون من بلاطه منبسطة بالحديد المفتول ويلاحظ
الاقتصاد الكبير في مقدار التسليح



(شكل ٨)
تسليح الكمرات الرئيسية لكوبرى بالحديد المفتول وقد أدى
الاقتصاد فى الحديد الى تقليل أبعاد الخرسانة



(شكل ٩)
تسليح الكمر الرئيسى لكوبرى بحديد الركسر



(شكل ١٠)
منحنيات المرونة للحدائد عالية المقاومة

وشكل (١٠) يعطى منحنيات المرونة لهذه الحدائد المختلفة .

وللحدائد المشكلة أهمية كبيرة من الوجهة العملية إذ أن ارتفاع درجة ارتباطها بالخرسانة يجعلنا نستغنى عن الجنشات بتاتا فى وصلها أو تهليبها إذ يكفى لذلك أن يترك بعض الطول من السيخ الى ما وراء النقطة التى يبتدىء فيها اجهاده وفى ذلك الكفاية .

وقد شاع استعمال اللحام الكهربائى فى وصل هذه الأسياخ فاغنى بذلك عما نقابله من متاعب فى التقييد باستعمال أسياخ بأطوال محدودة وعمل على اختصار ابعاد الخرسانة لعدم الحاجة الى ترك براح لعمل الجنشات والوصلات .

و يوصل السيخان بأن يشطف طرفيهما بالشعلة الأسيتيلنية على شكل رقم (٧) أو يبرى هذان الطرفان ثم يملأ الفراغ الناتج باللحام (شكل ١١) ويجب اختبار جودة اللحام باجراء تجربة الشد والثنى والاتعاب على مواضع اللحام كما أنه يجب التأكد من خلو جسم اللحام من الفراغات والشوائب . و يمكن الوصول باللحام الجيد الى نتائج قيمة (شكل ١٢) وتختار قطع التجربة مما تم عمله من اللحامات لاستعماله .

مقاومة الحديد للاجهادات المتغيرة

إن مقاومة الحديد للاجهادات المتغيرة كبيرة ويصل حد المقاومة للاجهادات المتغيرة فيه إلى حد مرونة المعدن تقريبا . و ينخفض هذا الحد عند نقط وصل الأسياخ ببعضها باللحام الكهربائى فهى بذلك نقط ضعف يجدر أن ترتب بحيث لا تقع فى النقط الأكثر إجهادا فى المنشأ .

بعد هذه النظرة السطحية فى خواص عناصر الخرسانة المسلحة ننتقل إلى صلب موضوع محاضرتنا وهو تجارب التحميل .

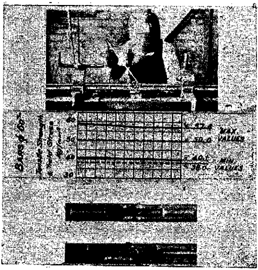
إن أهم الأغراض من هذه التجارب هى :

١ — التأكد من سلامة المنشأ بعد إتمامه وخلوه من الاخطاء وقدرته على القيام بما يتطلب منه فى نطاق الحدود الموضوعة له فى مواصفاته .

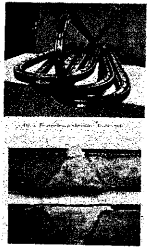
٢ — اختبار كفاية المنشآت القائمة ومقدرتها على مجاراة التطور فى أنواع الأحمال من حيث زيادة أوزانها وسرعتها على مرور الزمن .

٣ — دراسة تأثير الزمن على المنشآت نتيجة لفعل الأحمال الثابتة والمتغيرة وتقلبات الجو وما لذلك من أثر فى تغيير خواص موادها أو تمادى هبوطها وما ينتج عنه من تبديل فى طريقة عملها كان يتسبب فى تعطيل عمل ما بها من مفصلات أو قفل وصلات التمدد فيضيع بذلك الغرض المطلوب منها . ويتم ذلك بعمل التجارب الدورية وتدوين ما يلاحظ عند كل منها من تغيير فلا نفاجأ يوما بسقوطها وما ينتج عن ذلك من كوارث .

٤ — معالجة العيوب التى تظهر فى المنشآت كالاهتزاز فى الكبارى والمبانى بعمل تجارب التحميل الديناميكى ودراسة خواص المنشأ الديناميكية لتحديد الهزات الذاتية ومعاملات التكبير الديناميكى ومدى الاجهادات المتغيرة وتأثير فعل الانعاب واستئصال ما ينتج عنها من أضرار بتفهم مسبباتها والتخلص منها كتحديد السرعات على الكبارى وتحديد عدد دورات الآلات فى المبانى بما يتفق مع خواص المنشأ الديناميكية لئلا تثير الهزات العنيفة فيه وتقذف به إلى



(شكل ١١)
عملية اللحام فى أسياخ التسليح ونتائج تجارب الشد



(شكل ١٢)
تجربة الثني على البارد لمواضع اللحام . وقطاع فى اللحام نفسه يبين درجة نفاوته

الرعونة (Resonance) فتجعله عرضة للانهيار المفاجيء نتيجة الأتعاب .

٥ — تدعيم النظريات العلمية بالقياس العملى والمقارنة بين ما تم حسابه نظريا و بين ما يحدث فعلا وما ينتج عن ذلك من اظهار نقط الضعف فى بعض النظريات والفروض مما يجب ملافاته ومراعاة ذلك فى تعديل البنود الموضوعة فى دفاتر الشروط لما يستجد من منشآت فى المستقبل .

٦ — زيادة الثقة بما تقيمه من منشآت والاطمئنان اليها مما يشجع على التدرج فى زيادة استغلال المواد بزيادة اجهـادها وما لذلك من اقتصاد فى مكعباتها وتكاليفها . مما يوفر أموالا طائلة ليس هناك أى داع لتبذيرها .

تجارب التحميل الاستاتيكى

تعمل هذه التجارب لدراسة فعل الاحمال الثابتة . يوضع برنامج التجربة بناء على دراسة نظرية سابقة فتختار نقط التحميل ونقط القياس فى المواضع التى يتضخم فيها فعل التحميل لنخرج من التجربة بأكبر محصول ممكن .

أول ما يتجه اليه النظر فى المنشآت الجديدة هو الوقوف ما أمكن على مدى تأثير فعل وزن البناء نفسه . فتركب آلات القياس على المنشأ وهو لا يزال رابضاً على الشدة الخشبية أو المعدنية ثم تفك الشدة تدريجيا فيبدأ فعل وزن المبنى وتدون الآلات ما يتم حدوثه .

وهناك صعوبة نقابلها فى مثل هذه التجارب وهى أنه عند ما يتم جفاف الخرسانة وتتصلب تعمل عليها الحرارة فترفعهـا عن الشدة فتحمل بذلك

جزءاً من وزنها ويتتج ذلك أيضا عن انكماش خشب الفرم نفسه نتيجة تبخر ما يحويه من الماء والرطوبة فينفصل بذلك عن الخرسانة ويتركها تحمل نفسها فلا غرابة فى هذه الحالة إذا صادفنا تبايناً قد يكون كبيراً بين ما تم قياسه بالتجربة وما سبق حسابه نظرياً .

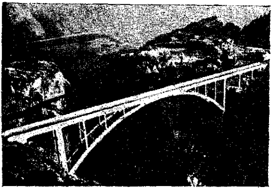
وإلى حضراتكم تجربة عقد خرسانى كبير لكوبرى جوروز على وادى التريانت بمقاطعة فاليس بسويسرا اشتركت فى تجربته (شكل ١٣) .

فتحة العقد ٩٨و٥٦ متر ، ارتفاعه حوالى ٢١ متر . أظهرت تجربة فك الشدة (شكل ١٤) فرق يسير بين الحساب النظرى والقياس نتيجة حمل العقد لجزء من وزنه . وقد قيست الاجهادات والترخيم والدوران فى المنتصف وفى الربعين والطرفين .

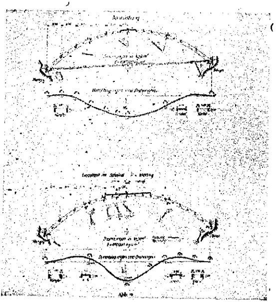
وكانت الخطوة الثانية فى التجربة تحميل العقد وهو واقف بمفرده قبل تركيب أرضية الطريق والأعمدة التى تحملها وذلك لدراسة خواصه وهو على هذه الحالة إذ يفرض غالباً أن العقد وحده هو الذى يقوم بحمل كل ما يتأتى عليه .

فوضع على قمة العقد حمل قدره ثمانية أطنان ونصف وأجرى القيـاس فى نفس المواضع السابقة وقد انطبقت نتائج التجربة على الحساب النظرى تماما .

ويجب ملاحظة خطر انبعاج العقد وهو قائم على هذه الحالة إذا بولغ فى الحمل الذى تعمل به التجربة إذ أن حسابه يعمل على فرض أن الأحمال متوزعة على مدى كبير وليست متركزة فى قمته علاوة على ما لربطه مع أرضية الطريق بالأعمدة من زيادة فى قدرته على مقاومة الانبعاج .



(شكل ١٣)
كوبرى جورروز على وادى الترياتت



(شكل ١٤)
(خطوط الترخيم للقمة).
أعلى : تجربة فك الشده
أسفل : تجربة تحميل المقـد وهو قائم بمفرده

والخطوة الثالثة للتجربة كانت بعد تمام بناء الكوبرى باستعمال سيارات النقل المثقلة وإعادة عمل القياس فى نفس المواضع . وبمقارنة نتائج القياس مع الحساب النظرى على فرض أن العقد يحمل كل الحمل بمفرده ظهر أنها أقل من القيم النظرية مما يدل على أن ما استجد على العقد من أرضية الطريق وكمراته تشترك اشتراكا فعليا معه فى الحمل وتعمل على التخفيف عنه (شكل ١٥) .

وقد قادت هذه الظاهرة إلى استنباط نوع جديد فى بابه من المنشآت وهو ما نسميه بالعقد المقوى يعمل حسابه من المبدىء على أساس اشتراك كمرات الطريق مع العقد فى رفع الحمل (شكل ١٦) .

وبهذه الطريقة يمكن المبالغة فى تخفيف العقد . والشكل يبين عقد بفتحة ٤٣٫٢٠ متر عمل بسمك ٢٣ سنتيمتر فى المنتصف و ٢٩ سنتيمتر فى الأطراف وقد عملت عليه تجربة التحميل فأظهر صلابة أكبر مما كان ينتظر منه نظريا .

ويتلو تجربة التحميل الاستاتيكى أن تطلق السيارات بسرعات عالية على الكوبرى لاختبار اهتزازه ولنا عودة إلى ذلك . وكلما كان الحمل الذى تعمل به التجربة متركزاً على طول قصير كلما زادت دقة قياس خطوط التأثير إذ أن هذه إنما يفرض فيها الحمل المتركز فى نقط واحدة . وقد عمل السويسريون على تحقيق ذلك ببناء عربة خصيصاً للتجربة استعيض بها عن القاطرات عبارة عن حمل قدره ٣٦ طن مركب على دنجل واحد (شكل ١٧) يمكن به قياس خطوط التأثير بدقة كاملة .

ويتم الوصول إلى نفس الغرض فى كبارى الطرق بتركيز الحمل على العجلة

الخلفية لسيارة التحميل وذلك بوضع كرات طويلة عليها تمتد إلى الخلف فتعمل على إحداث عزم دوران سلبى حول محور العجلة الخلفية يعمل على تركيز باقى ثقل السيارة على هذه العجلة (شكل ١٨) .

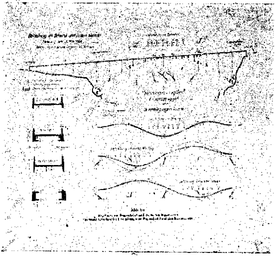
وإلى حضراتكم مثل آخر لتجربة عملت على عقد خرسانى أيضا من ذوى الثلاثة مفصلات بناه المهندس القدير روبرت ميار على طريقته الخاصة . وهو كوبرى التور بمدينة فلزج بمقاطعة سنت جالن بسويسرا (شكل ١٩) .

فتحة العقد ٧٢ مترا وارتفاعه ٨٫٥٣ مترا وقطاعه العرضى من النوع الصندوقى يتدرج سمك بلاطته السفلى من ١٨ إلى ٣٢ سنتيمترا ويبلغ سمك الجنبين ١٥ سنتيمترا . وقد قيس الترخيم والدوران فى الوسط والربع وقيست الاجهادات فى نقط متعددة (شكل ٢٠) فظهر اتفاقها التام مع القيم النظرية .

واستعرض الآن تجربة اشتركت فى عملها لكوبرى على نهر الرون بالقرب من بلده دوريتاز بمقاطعة فاليس بسويسرا من عمل المهندس سارازان (شكل ٢١) بنى من كمرتين رئيستين مستمرتين على ثلاثة فتحات بلغت فى الوسط ٤٥ متر وفى الطرفين ٥ و ٣٠ متر . ويبلغ ارتفاع الكمرة فى المنتصف الكوبرى ٥٠ و ٢ متر وعلى الدعائم ازدادت الى حوالى خمسة أمتار وسمكها ٣٠ سنتيمترا فقط ويبلغ عرض الطريق التى تحمله خمسة أمتار (شكل ٢٢)

قيس الترخيم فى الوسط للفتحة الكبرى والفتحة الجانبية وكذلك الاجهاد كما قيس الدوران على أربع نقط الارتكاز (شكل ٢٣) .

والمطابقة بين الحساب ونتائج التجربة تكاد تكون كلية .



خطوط التأثير

١) الترخيم فى القمة

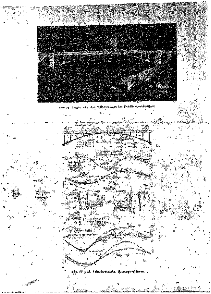
٢) الترخيم فى الربع الأيسر

٣) الترخيم فى الربع الأيمن

(شكل ١٥)

تجربة تحميل العقد بعد انتهاء البناء

(الخطوط الثقيلة هى نتائج القياس والخطوط الخفيفة هى نتائج الحساب النظرى)



نقطة القمة

١ — الاجهادات فى السطح الأعلى

٢ — زوايا الدوران

نقطة الربع

١ — الاجهادات فى السطح الأعلى

٢ — الترخيم

(شكل ١٦)

كوبرى ڤالنتالباخ من نوع العقد المقوى ونتيجة تجربة تحميله

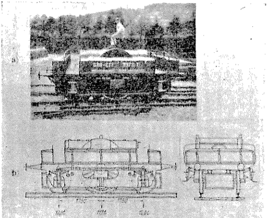


Abb. 696a u. b. Einachsiger Belastungswagen der Schweizerischen Bundesbahnen.

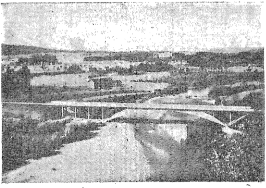
(شكل ١٧)

عربة تحميل الكبارى للسكك الحديد السويسرية . ترفع العجلتين الأمامية
والخلفية عند التجربة فيتركز الحمل على العجلة الوسطى

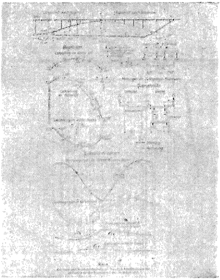


(شكل ١٨)

سيارة التحميل التى استعملت فى اختبار كوبرى وتشتين بمدينة بازل وقد ركز
كل وزنها على العجـلة الخلفية ومقداره ١٢ طناً



(شكل ١٩)
كوبرى التور بمدينة فلزج



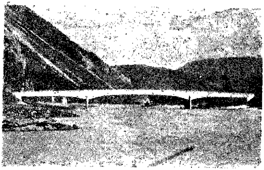
١ — الترخيم فى النصف الايسر لموضع الحمل فى النصف الايمن

٢ — تحرك الاطراف

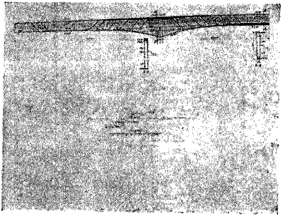
الترخيم فى قمة العقد ثم فى الربع

الدوران في القمة ثم الربع

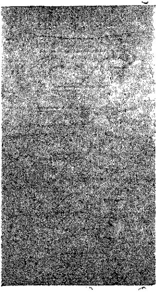
(شكل ٢٠)
تجربة تحميل كوبري التور



(شكل ٢١)
كوبرى الرون بالقرب من دوريناز



(شكل ٢٢)
تفاصيل حديد تسليح كوبرى الرون بالقرب من دوريناز
ونتيجة تجربة التحميل الديناميكى



خطوط التأثير
خط الترخيم فى المنتصف

١ — الاجهادات فى المنتصف : أعلى وأسفل
٢ — الدوران لنقطة الوسط
٣ — خط ترخيم منتصف الفتحة اليسرى
٤ — الاجهادات المنتصف الفتحة اليسرى : أعلى وأسفل
٥ — الدوران للطرف الايسر
٦ — الدوران فوق البغلة اليسرى

(شكل ٢٣)
نتيجة تجربة تحميل كوبرى الرون بالقرب من دورينار

ثم تجربة أخرى لكوبرى برشنج باو ولكن من أعمال زيوريخ بكمرات رئيسية من النوع المستمر ذى المفصلات . فتحته فى الوسط ٠٠و٢٣ متر وفتحتيه الجانبيتين كل منهما ٣٠و٨ متر وطول الفتحة المعلقة فى الوسط ٣٠و٨ متر (شكل ٢٤) .

وتعمل المفصلات فى الكمرات المستمرة بقصد تقسيمها إلى كمرات بسيطة مع استغلال ماينجم عن استمرارها فى العمل ككمرات مستمرة من اقتصاد وذلك إذا لم يؤمن لطبيعة الأرض وخيف من ترييح الأساسات . إذ أن الكمرات البسيطة لاتتأثر بمثل هذا الهبوط بعكس الكمرات المستمرة فانه يغير معالمها . ويحدث فى مواضع المفصلات انكسار فى خط الترخيم إذ هى نقط الاتصال بين جزئين من المنشأ يختلفان فى طريقة عملهما . فهذا النوع من الكبارى أكبر ترخيما من مثيله من الكبارى المستمرة ولكنه أكثر صلابة من ذات الفتحات البسيطة .

ويرتكز الكوبرى الذى نحن بصدده على قوائم محكمة الاتصال به وبالدعائم التى تقف عليها . وهذه القوائم تتقوض عند تحميل الكوبرى نتيجة لدوران الكمرات المتصلة برؤوسها وتبعيتها لها .

وقد أجريت التجربة بوضع حمل قدره ٧,٥ طن فى منتصف الفتحة المعلقة لاحدى الكمرات الرئيسية وبمقارنة خط الترخيم نتيجة الحساب النظرى لحمل قدره ٥ أطنان مع مراعاة فرق مقدار التحميل نجد مطابقة القياس للحساب .

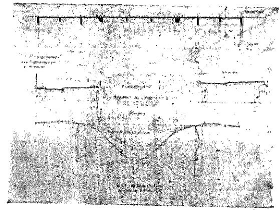
ولم تظهر الدعائم السفلى أى دوران يذكر عند التحميل مما يجعل القوائم كاملة التثبيت فى أطرافها .

و إلى حضرتكم برهان ساطع على شدة ولاء المنشآت للنظريات وهى فى أشد محنها وتعلقها بها إلى آخر رمق من حياتها وهو حادث فى كوبرى تافانازا على منابع نهر الرين العليا بسويسرا إذ انقض على هذا الكوبرى البائس وابل من من الحجارة الضخمة من أعلى الجبل فقصه قصا (شكل ٢٥) .

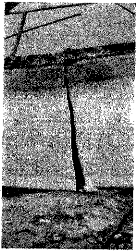
ونرى هنا كسر عجيب أبى ألا أن يسير على خط مستقيم عمودى على المحور محتفظا بذلك مستوى قطاعه العرضى باستقامته على حد قول نافير . فان الضربة القاضية لم تمهل المواد من حديد وخرسانة لتتمدد وتتقلص بل فاجأتها بما لاقبل لها به فأجهزت عليها مؤيدة لظاهره يعرفها من مارس فن اختبار المواد وهى أن الكسر الديناميكى يحدث بدون تغيير فى الطول .

ننتقل الآن إلى استعراض بعض تجارب التحميل فى المبانى . تتجه الأنظار عند عمل هذه التجارب إلى الاستغناء ماأمكن عن التحميل بواسطة رص الأثقال كقطع الحديد أو شكائر الرمل على الجزء المراد اختباره والاستغناء عنها باستخدام المكابس الايدروليكية فى احداث القوات المطلوبة فوقت التحميل بها أقصر فهو لايستغرق بضع دقائق ومن السهل إعاده عمل التجربة عدة مرات ولايكلف ذلك أكثر من رفع الضغط وخفضه فى المكابس ومن السهل الوصول إلى أقصى قيمة للتحميل على دفعات والرجوع بعد كل منها إلى الصفر لدراسة فعل التحميل المتغير بطريقة دقيقة ويكفى لذلك ضبط التحميل بمقياس ضغط مدرج (مانومتر) .

ويمتاز هذا النوع من التحميل بدقة مانحصل عليه به من نتائج إذ أن قصر وقت التجربة فضلا عن سهولة عملها وقلة تكاليفها لايضطرنا إلى ترك أدوات



(شكل ٢٤)
كوبرى بيرشتح باورلسكن ونتيجة تجربة التحميل
(خط الترخيم)



(شكل ٢٥)
حادث كوبرى نافانازا

القياس مدة طويلة وهى مثبتة على المنشأ مما يعرض قراءاتها للخطأ ويترك مجالا للمؤثرات الجوية كتغيير درجة الحرارة فى التداخل فى نتائج التجربة ويعرض الآلات نفسها للتلف . وللمكابس رد فعل مساو للقوة التى تضغط بها على المنشأ يعمل على نقط ارتكازها وهو ما يجب دراسة أثره بعناية عند وضع ترتيب التجربة .

تجربة كمرات سقف صالة الاجتماع الكبرى

ببناء عصبة الأمم الجديد بجنيف

حمل السقف على أربعة كمرات بنيت على شكل أعتاب شبكية بارتفاع أربعة أمتار وفتحات ٣٣,٤ و ٣١,٩ متر تتقاطع مع بعضها على بعد ٥,٧٠ متر من نقط الارتكاز . ويكفى أن نلقى بنظرة على ترتيب حديد التسليح (شكل ٢٦) لنرى أهمية عمل التجارب على هذه الكمرات . واقتضى هذا التسليح الجبار ما يجب على هذه الكمرات حمله من أثقال ضخمة تتراوح بين ١٤,٢٧ إلى ١٩,٢٧ طناً فى المتر الطولى . ولم يكن هناك بد من استعمال حديد كروم مخصوص عالى المقاومة (شكل ٢٧) وتقرر عمل تجربة هذه الكمرات بحمل مقداره ١١٢٠ طن وقد تم ذلك باستعمال مكابس ايدروليكية وضعت بين أسفل الكمرات والشدة أمكن بها ضغط كل كمرة بمقدار ٥٦٠ طناً على أن تحمل الشدة رد فعل المكابس (شكل ٢٨) وكان التحميل فى هذه الحالة من أسفل إلى أعلى فى اتجاه عكسى لفعل وزن الكمر .

وهذه التجربة ولو أنها مخالفة لما يجرى فى الواقع إلا أنها أدت إلى الغرض

المطلوب كاملا بطريقة بسيطة ناجحة . فقيس الترخيم والدوران والاجهاد فى أجزاء الكمر المختلفة ومنه استخلص ما هى عليه هذه المقادير فى صيغتها النهائية تحت تأثير وزن الحمل الثابت والحمل الحى (شكل ٢٩) .

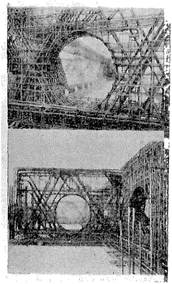
وقد أوصلتنا هذه التجارب إلى النتائج الآتية :

١) كانت الكمرات تحمل جزءاً من وزنها وهى لا تزال رأسية على الفرم .

٢) اشتركت السقوف المرتبطة برؤوس الكمرات مع الكمرات فى رفع الحمل فنتج عن ذلك زيادة كبيرة فى متانتها مما أدى إلى انخفاض قيم الترخيم والتقويص إلى النصف وانخفضت تبعاً لذلك قيم الاجهادات فى رؤوس الكمرات إلى النصف . فأقصى ضغط قيس فى رأس الكمرة العليا كان حوالى ٥٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع للخرسانة وأقصى شد فى الحديد فى رأس الكمرة السفلى بلغ ١١٧٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع فى حين أن الحدود المسموح بها فى هذه الحالة والتى عمل عليها حساب الكمر كانت ١٠٠ و ٢٣٠٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع للخرسانة والحديد على التوالى .

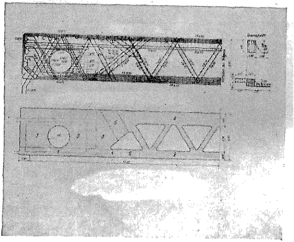
٣) لم تتأثر قوى أعضاء الشبيكة بهذه التقوية . إذ أن هذه عليها أن تحمل قوى القص مما لا دخل يذكر لرؤوس الكمرات فيه . ولكن الاجهادات التى بها لم تتجاوز الحدود المقررة .

٤) معامل السلامة للخرسانة والحديد بالنسبة لمقاومتهما للكسر هو ٣ و ٢ على التوالى .



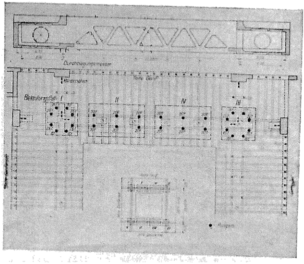
(شكل ٢٦)

منظر لحديد تسليح كمرات سقف صالة الاجتماع الكبرى
بمبنى عصبة الأمم الجديد بجنيف



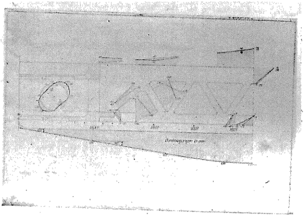
(شكل ٢٧)

أعلى : تفاصيل التسليح . أسفل : ترتيب صب الخرسانة



(شكل ٢٨)

ترتيب المكابس الايدروليكية وأدوات القياس عند عمل التجربة



(شكل ٢٩)

نتيجة التجربة أعلى : مقادير التغيير فى وحدة الطول بواحد على المليون

أسفل : خط الترخيم وزوايا الدوران

ه) الاجهادات الثانوية عالية جداً وهى فى المتوسط ٧٠ ٪ وقد وصلت قيمتها إلى ١٧٠ ٪

تجارب تحميل البلاطات

ساد استعمال البلاطات المنبسطة وهى التى ترتكز على الأعمدة مباشرة دون أن يتوسطهما الكمرات الطولية والعرضية (شكل ٣٠)

وهذه البلاطات اقتصادية جداً فى حالة الأحمال الثقيلة فضلا عن أن تنفيذها لا يحتاج إلى فرم خشبية معقدة .

والدراسة النظرية الدقيقة لهذه البلاطات معقدة جداً وقلما أوصلت إلى حل بالسرعة والسهولة التى نتطلبها . ويجرى حساب هذه البلاطات فى الأحوال العملية على أساس ما أجرى عليها من تجارب . فكل تجربة تعمل على هذه البلاطات تزيد فى ايضاح طريقة عملها وتجعلها أكثر تداولا .

ولاجراء تجارب وافية استعيض عن طريقة التحميل العادية بحمل مفرد متحرك مكون من عربة محملة بكتل تجرى على خط ديكوفيل يمد على طول المواضع المراد تحميلها وبذلك يسهل قياس سطوح التأثير لأى نقطة فى السقف . (شكل ٣١) .

و (الشكل ٣٢) يبين نتائج مثل هذا القياس لسقف سمكه ١٨ سم بأعمدة بارتفاع أربعة أمتار على مسافات ٦٫٣٦ . عملت التجربة بحمل قدره ٥٫١ طن مركب على عربة وقيست سطوح التأثير للترخيم والاجهاد لنقطة الوسط فى إحدى المربعات .

وقد أظهرت هذه التجارب ما اختصت به هذه الأسقف من المتانة الكبيرة والقدرة الفائقة على الحمل مع قلة الترخيم والتقويض مما أدى إلى امكان الاقتصاد الكبير فى تخاناتها والتمادى فى زيادة فتحاتها وشكل ٣٠ ب يبين مثالا رائعا لهذه البلاطات وهو سقف معامل سيارات أوبل عملت فيه البلاطات بفتحات ١٢٫٢٠ .

و إلى حضراتكم تجربة تحميل طريقة عملت على سلم القفز لاحدى حمامات السباحة . أجرى التحميل بثقل مقداره ٧٥٠ كيلو جراما فى طرف المصطبة العليا يليه حملان كل منهما ٣٥٠ كيلوجراما . وقد قيس الدوران والترخيم والاجهاد فى الأجزاء المختلفة للسلم فطابق ذلك النتائج الحسابية بشكل يدعو إلى الارتياح (شكل ٣٣) .

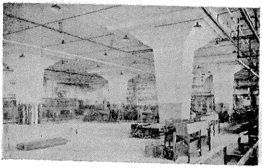
وعملت التجربة الديناميكية لاختبار الاهتزاز بجعل خمسة رجال ثم ثمانية يقفزون دفعة واحدة من المصطبة العليا إلى الماء . ثم أجريت عملية اهتزاز بترنح ثلاثة ثم ستة رجال معاً فى وقت واحد . وهذه الطريقة الأخيرة هى المتبعة غالباً لأحداث الاهتزاز فى الأبراج عند اختبارها : وتضبط حركة الرجال بالمترونوم المستعمل فى ضبط الآلات الموسيقية .

تجارب التحميل الديناميكى

تثير الأحمال المتحركة الاهتزاز فى المنشآت عند مرورها فوقها بسرعات عالية . وقد تضخمت هذه الظاهرة فى المدة الأخيرة نتيجة للتطور الكبير الذى حدث فى أنواع الأحمال ليفى بمقتضيات الحياة العصرية . إذ أن تضخم حركة النقل الناتجة عن ازدياد العمران اضطر الحال إلى زيادة قوة القاطرات والسيارات



(ا)



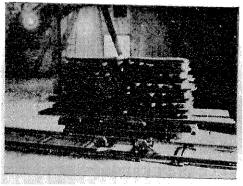
(ب)

(شكل ٣٠)

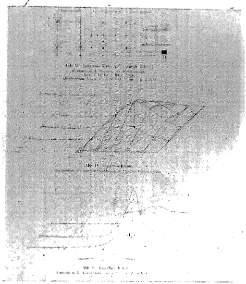
الأسقف من البلاطات المنبسطة

ا : أسقف بناية عالية ويرى التدرج فى أحجام الاعمدة فى الطبقات المختلفة للبناء

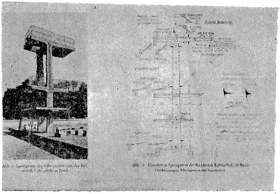
ب : سقف معامل سيارات أوبل فتحة البلاطة ١٢,٢٠ متر



(شكل ٣١)
عربة التحميل لتجربة الاسقف وقد مد لها خط ديكوفيل



(شكل ٣٢)
نتيجة تجارب تحميل البلاطـات المنبسطة
أعلى : خطوط الترخيم : أسفل : خطوط الاجهادات



(شكل ٣٣)
تجربة تجميل سلم النط لحمام سباحة

وارتفاع سرعاتها فتبع ذلك زيادة كبيرة فى أوزانها وما ينتج عنها من تأثير ديناميكى فى الوقت الذى اتجهت فيه الأفكار إلى التمادى فى الاقتصاد فى مكعبات البناء واستنفاذ ما فى المواد من قوة إلى آخر رمق فأدى ذلك إلى انخفاض ما ينتج فى المنشأ من اجهادات من وزنه وارتفاع ما ينتج منها فيه عن الأحمال المتحركة والنتيجة الطبيعية لذلك هو سيطرة الاجهادات المتغيرة وما يتلو ذلك من أتعاب المواد ثم تضخم ظاهرة الاهتزاز .

وللاجسام المرنة خواص ديناميكية هامة فاذا أثير الاهتزاز فى جسم وترك وشأنه ليهتز اهتزازا حرا رسم عدد معين من الهزات فى الثانية . وهذا العدد ثابت له و يعد من أهم مميزاته و يسمى بهزته الذاتية .

فاذا عملت على الجسم قوة خارجية متغيرة التردد فان قيمة الاهتزاز الذى تحدثه يزداد كلما قرب ترددها من الهزة الذاتية للجسم وعندها يبلغ أقصاه ثم يأخذ بعد ذلك فى التناقص . هذه الظاهرة من أهم خواص الأجسام وتسمى ظاهرة الرعونة و بها قد يبلغ الاهتزاز وما ينتج عنه مقادير خطرة (شكل ٣٤)

وتزود عجلات الادارة فى القاطرات بكتل الاتزان لتعادل الأجزاء المترددة (شكل ٣٥) تعمل على هذه الكتل عند سير القاطرة قوى مركزية طاردة فينشأ عنها قوى مترددة تزداد قيمها بازدياد السرعة وتعمل على احداث ضربات تسمى بالطرق يساوى ترددها خارج قسمة السرعة على محيط عجلة الادارة. وتثير قوى الطرق الاهتزاز فى الكبارى بمقدار يتناسب مع قيمها (شكل ٣٦) وتقذف بها إلى الرعونة إذا اتفق ترددها مع الهزة الذاتية للكوبرى وهو محمل فتحدث فيه هزات عنيفة واجهادات عالية .

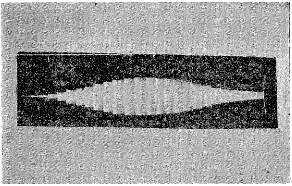
وتحدث نفس الظاهرة على كبارى الطرق باهتزاز أجسام السيارات على السست اذ لكل منها هزة ذاتية خاصة وما ينتج عن ذلك من ضربات ينتقل الى الكوبرى و يثير الاهتزاز فيه .

أما فى المبانى فيثار الاهتزاز نتيجة دوران الآلات فيها خصوصا اذا قذفت بها هذه الى الرعونة .

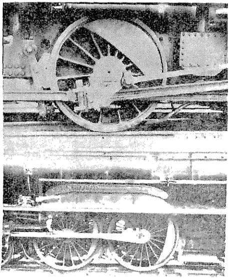
وتعمل تجارب الرعونة على الكبارى باطلاق قاطرة التجربة أو السيارة بسرعات متزايدة وقياس ما ينتج عنها من اهتزاز واجهاد ثم ترسم المنحنيات التى تربط العلاقة بين سعة الذبذبة أو قيمة الاجهاد مع عدد الهزات فى الثانية وتسمى منحنيات الرعونة . ومنها تتعين الهزة الذاتية بأعلى قيمة المنحنى وتحدد قيمه تضخم تأثير الطرق بفعل الرعونه

وتعمل تجارب الرعونة فى المبانى بآلات خاصة باحداث الاهتزاز تستعمل فى الكبارى أيضا هى فى مبناها عبارة عن قرصين دائرين مركب على حافة كل منهما كتلة (شكل ٣٧) فكل منهما أشبه والحالة هذه بعجلة الادارة للقاطرة . ويدور القرصان فى اتجاهين مختلفين فيحدثان قوة مترددة تعمل على إثارة الاهتزاز ويمكن عمل تجارب الرعونة بها (شكل ٣٨و٣٩)

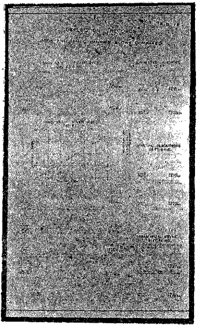
و بربط مقدار الاهتزاز بعدد الهزات فى الثانيه نحصل على منحنى الرعونة (شكل ٤٠) فبمعرفة الهزة الذاتية للمنشىء يمكن تحاشى مرور الأحمال بالحالة التى تقذف به فى الرعونة كما يتم ذلك بتحديد السرعات على الكبارى وبتغيير عدد دورات الآلات فى المبانى



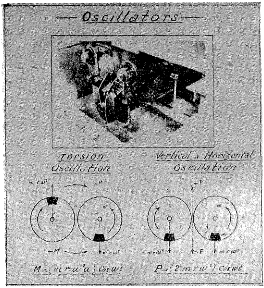
(شكل ٣٤)
دياجرام مأخوذ بمقياس الاهتزاز لتجربة زعونة على أحدى الـكبارى



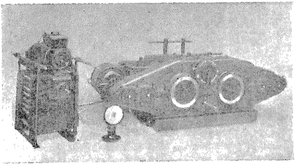
(شكل ٣٥)
عجـلات الادارة للقاطرات وهى مزوده بكتل الاتزان
أعلى : قاطرة البضاعة . أسفل : قاطرة الاكسبريس



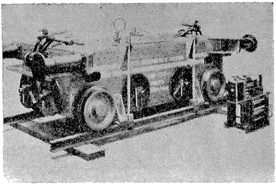
(شكل ٣٦)
العلاقة بين قوة الطرق وسعه ذبذبة الاهتزاز فى الــكوبرى



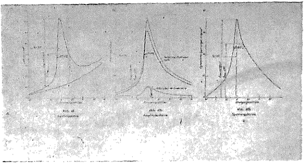
(شكل ٣٧)
الة اهتزاز وبيـان طريقة عملها



(شكل ٣٨)
آلة الاهتزاز المستعملة فى اختبار الـكبارى والمبانى



(شكل ٣٩)
آلة الاهتزاز المستعملة فى اختبار كبارى السكة الحديد



(شكل ٤٠)
منحنيات الرعونة المأخوذة بآلة الاهتزاز ١ — القوة الكهربائية المستهلكة
٢ — سعة الذبذبة ٣ — الاجهادات

و إلى حضراتكم تجربة كوبرى أدولف بمدينة لكسمبورج وهو عقد حجرى كبير من خير ما عمله المهندس الفرنسى سيجورتيه فتحته ٨٢ر٢٠ متر وارتفاعه ٢١ر٠٣ متر (شكل ٤١) .

عملت التجربة بآلة الاهتزاز فتحددت قيمة هزته الذاتية بأربعة ومقدار قوة التكبير للطرق بفعل الرعونة بخمسة وعشرين .

وتجربة أخرى لبرج من الخرصانة المسلحة فى معمل استخراج الغاز بمدينة بازل معد لتوزيع الفحم (شكل ٤٢) وقد صادف تقارب دورات الآلات المتصلة به بهزته الذاتية فنتج عن ذلك استمرار البرج فى الاهتزاز مع حدوث ضربات دورية فيه . وقد كانت سعة الذبذبة ١٥ر٠ من المليمتر فقط ومع ذلك فقد كانت بليغة التأثير على الجسم البشرى مما يدل على حساسيته الشديدة للاهتزاز . ولم يتجاوز الاجهاد الناشىء عن الاهتزاز نصف الكيلوجرام على السنتيمتر المربع وهو مقدار لا قيمة كبيرة له فى التأثير على سلامة المنشأ . وهو يدل على أن ما ينشأ من الاجهادات نتيجة الاهتزاز يمكن اهماله غالباً فى المبانى لكنه قد يكون بليغ الضرر فى الكبارى إلى درجة يجعل سلامتها فى خطر .

آلات القياس

قياس الاجهادات الاستاتيكية

يستعمل لذلك فى الغالب التنسومتر من نوع هو جنبرجر (شكل ٤٣) وهو عبارة عن آلة تكبير من ذوات المؤشر له سن ثابت وآخر متحرك يدور حول نقطة ارتكاز فيدير معه ذراع الآلة الطويل وهذا يجذب بطرفه الأقصى الطرف

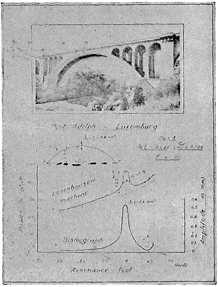
القصير للمؤشر فيجعل طرفه الطويل يتحرك على مقياس مدرج بالملليمترات فيتم التكبير بذلك على دفعتين ومقداره حوالى ١٠٠٠

وطول المسافة بين السنين سنتيمتران فكل قسم على المقياس يعادل بذلك اجهاد قدره ١٠٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع على الحديد وعشر هذا المقدار تقريباً للخرسانة .

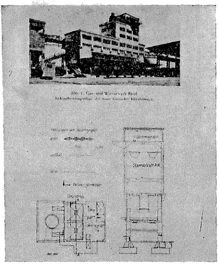
ولما كانت الاجهادات التى نقابلها فى القياس العملى قلما تعدت ١٠٠ كيلو جراما على السنتيمتر المربع على الخرسانة وتكون ذا قيم صغيرة غالباً عمل على زيادة حساسية التنسومتر بتطويل مسافة القياس فيه الى ١٠ و ٢٠ و ٥٠ و ١٠٠ سم حسب مقتضيات الأحوال وتستعمل الأطوال الكبيرة فى فى حالة الاجهادات الصغيرة إذ أنه فى حالة القياس بطول ١٠٠ سم يعادل كل قسم على المقياس حوالى ٢و٠ كيلوجراما على السنتيمتر المربع للخرسانة .

قياس الاجهادات الديناميكية

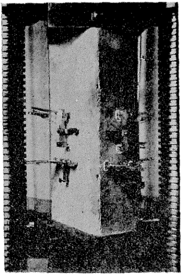
الغالب استعماله هو مقياس ماير للاجهادات الديناميكية (شكل ٤٤) طول مسافة القياس فيه ٢٠ سنتيمتر يمكن زيادتها إلى ٤٠سنتيمتراً . يجرى التكبير فيه آليا بواسطة الأذرع على دفعتين كما فى التنسومتر ومقداره حوالى ١٠٠ وتسجل حركة سن المؤشر على شريط دائر من الورق المسود . فى حالة طول القياس على ٢٠ سنتيمترا يعادل كل ملليمتر لحركة سن المؤشر اجهاد قدره مائة كيلوجراما على السنتيمتر المربع للحديد وعشر هذا المقدار تقريباً على الخرسانة .



(شكل ٤١)
تجربة كوبرى أدولف بلكسمبورج أعلى : منحنى القوة الكهربائية المستهلكة . أسفل : منحنى سعة الذبذبة

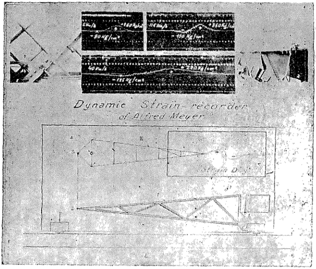


(شكل ٤٢)
تجربة برج توزيع الفحم لمحطة استخراج الغاز بمدينة بازل



(شكل ٤٣)

مقاييس الاجهادات الاستاتيكية وهى مثبتة فى موضع القياس



(شكل ٤٤)

مقياس الاجهادات الديناميكية

قيـــــاس الدوران

يستعمل لقياس الدوران الـكلينومتر (شكل ٤٥) تثبت الآلة فى موضع القياس وتضبط فقاعة الهواء فى المنتصف قبل اجراء عملية التحميل ثم تدون قراءة الميكرومتر فى الموضع المقابل للمؤشر . فبالتحميل تدور نقطة القياس وتنحرف الفقاعة عن نقطة الوسط . فيعمل بالميكرومتر على ارجاعها اليهـا ثانية ثم تعاد قراءته . فالفرق بين القراءتين يعطى زاوية الدوران التى رسمهـا المنشأ عند نقطة القياس نتيجة التحميل .

قياس الترخيم الاستاتيكى

يستعمل لذلك ساعات القياس (شكل ٤٦) تثبت الساعة على قاعدة ثابتة وتضغط بمؤشرها تحت النقطة المراد تدوين ترخيمها . ويتصل بالمؤشر مشط يعمل على إدارة مجموعة تروس مركب عليهـا عقارب الساعة فتأشر هذه بذلك الحركة على قرص مدرج وتقيس هذه الساعات الترخيم إلى أقرب واحد على مائة من المليمتر .

قيـــــاس الاهتزاز

فى الأحوال التى يكون فيها الاهتزاز كبيرا ولا يحتاج فى قياسه إلى دقة كبيرة يكتفى باستعمال الدفلـكتومتر العادى (شكل ٤٧)

وهو آلة قياس من ذات المؤشر يتم التـكبير فيها آليا بنسبة طولى ذراعى المؤشر . يربط طرف المؤشر الخارجى بنقطة ثابتة تثبت الآله على النقطة المراد

القياس فيها . فباهتزاز هذه النقطة يدون سن المؤشر الحركة مكبرة على شريط من الورق مشدود على اسطوانة دائرة .

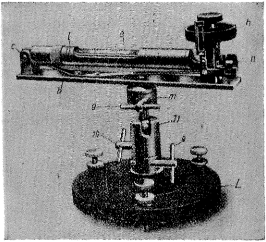
هذا المقياس لا يفى بالغرض فى أحوال القياس الدقيقة كمل تجارب الرعونة فى الكبارى وكقياس الاهتزاز فى المبانى والابراج . فيستعاض عنه بآلات أدق منه .

فيستعمل الاسلوجراف فى قياس اهتزاز الكبارى وفيه يربط المؤشر بنقطة ثابتة وتهتز الآله مع نقطة القياس فيدون سن المؤشر الاهتزاز على شريط من الباغه يلف بسرعة كبيرة .

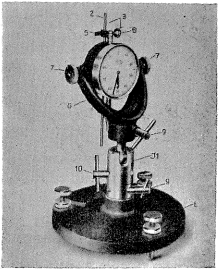
وقد استنبطت آلات لقياس الحركة إستغنى فيها عن ضرورة وجود نقطة ثابتة لربط المؤشر . وهى أدق أنواع آلات القياس . وقد زودت بأوزان كبيرة معلقة يساعدها مالها من قصور ذاتى على الثبات فى موضعها عند الاهتزاز فتستعمل بذلك مرجعاً للقياس بالنسبة اليها ومن هذه الآلات الفيبروجراف بنوعية لقياس الاهتزازين الرأسى والأفقى .

وأدق أنواعها هو السيسموجراف (شكل ٤٨) وهو مزود بثلاثة مؤشرات لتدوين الحركة فى ثلاثة اتجاهات متعامدة فتتحدد بذلك الحركة الفراغية للنقطة المثبت عليها .

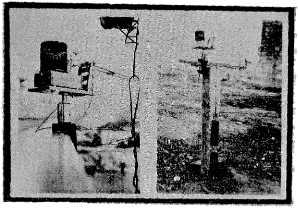
ويرجع الفضل إلى دقة هذه الآلات فى تقدم فن القياس وارتقائه وما تلاه من تطور كبير فى طرق اختيار المواد وتجارت التحميل .



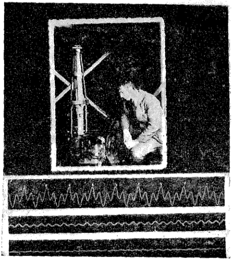
(شكل ٤٥)
مقيـاس زوايا الدوران



(شكل ٤٦)
ساعات قياس الترخيم



(شكل ٤٧)
مقياس الترخيم والاهتزاز البسيط



(شكل ٤٨)
مقياس الاهتزاز الدقيق (السيسموجراف)

نستخلص من محاضرة اليوم أن تفهم خواص المواد ودقة ملاحظة هذه الخواص فى عمل الحساب النظرى ثم استيفاء دراسة المنشآت من الوجهة النظرية ينتج لنا منشآت تتبع فى طريقة عملها النظريات بدرجة كبيرة ترفع من قيمة هذه النظريات وتجعلها موضع ثقة عالية . وأن فن البناء الحديث يتطلب فوق الخبرة العملية عرفانا كاملا للنظريات يعززها فكل منهما مكمل للآخر ولا غنى له عنه .

المراجع

1) Rôs, M. Prof. Dr. Ing. h. c.

Versuche und Erfahrungen an ausgeführten Eisenbeton - Bauwerken in der Schweiz 1924-1937.

Bericht N° 99 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an der E. T. H. Zuerich.

2) Mortada, S. Dr. Sc. techn.

Beitrag zur Untersuchung der Fachwerke aus geschweisstem stahl und Eisenbeton unter den statischen und Dauerbeanspruchungen.

Bericht N° 103 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an der E. T. H. Zuerich. 1937.

Diss. E. T. H. 1936.

3) Mortada, S. Dr. Sc techn.

Beanspruchung und Sicherheit des Eisenbeton-Fachwerke.

Schlussbericht des zweiten internationalen Kongresses fuer Brueckenbau und Hochbau Berlin — Muenchen, 1 - 11 Oktober 1936.

Verlag von Wilhelm Ernst & shon, Berlin 1938.

4) Spaeth, W. Dr. Ing.

Theorie und Praxis der Schwingungs-pruefmaschinen.

Verlag von Julius Springer, Berlin 1934.

5) Report of the Bridge stress Committee.

Published under the authority of His Majesty's stationary Office, London 1928.

6) Brebera.

Anwendung von stahl mit hochliegender streckgrenze im Eisenbetonbau.

Vorbericht des zweiten internationalen Kongresses fuer Brueckenbau und Hochbau.

7) Brebera.

Das Schweissen von hochwertiger stahlbewerung "Roxor"

Schlussbericht des zweiten internationalen Kongresses fuer Brueckenbau und Hochbau.

8) Rôs, M. Prof. Dr. Ing. h. c.

Gegeuwertiger Stand und aktuelle Probleme hochwertiger stahlbewerter und nicht bewchrter Zementrohre.

Bericht N° 35 der Eidg. Material-pruefungsanstalt an der E. T. H. Zuerich.

9) Bernhard, R. Prof. Dr. Ing.

Dauerversuche an genieteten und geschweissten Bruecken.

Sonderdruck der Zeitschrift des V. D. I. Bd. 73 (1929) N° 47.

(١٠) مرتضى : « الديناميكا فى هندسة الـكبارى » الـكتاب السنوى لجمعية الهندسة المدنية بكلية الهندسة بجامعة فؤاد الأول لسنة ١٩٣٩ .

(١١) مرتضى : (تجربة تحميل سقف صالة الاجتماع الـكبرى ببناء عصبة الامم الجديدة بجنيف) مجلة العمارة العدد الأول لسنة ١٩٣٩

(١٢) مرتضى : (الـكبارى الخفيفة من الخراسانة المسلحة) . مجلة العمارة العدد الثانى لسنة ١٩٣٩